

Belastningsberäkning

Projektidé i Uppsala AB

MKB detaljplan Börjetull

Nyköping 2019-01-23

MKB detaljplan Börjetull

Belastningsberäkning

Datum	2019-01-23
Uppdragsnummer	1320032552
Utgåva/Status	Granskningshandling

Ann Ajander
Uppdragsledare

Claes Becker/Erik Östblom
Handläggare

Kristina Jansson
Granskare

Ramböll Sverige AB
Hospitalsgatan 20
611 32 Nyköping

Telefon 010-615 60 00

Unr 1320032552 Organisationsnummer 556133-0506

Innehållsförteckning

1.	Inledning	1
1.1	Uppdrag och syfte	1
1.2	Bakgrund	1
2.	Områdesbeskrivning	2
2.1	Dagvatten	3
3.	Metodik	3
3.1	Dataunderlag.....	3
3.2	Representativa halter	4
3.3	Egenskapsområden	4
3.4	Platsspecifika riktvärden	5
3.5	Naturvårdsverkets beräkningsmodell	6
3.6	Jämförelse av halter i grundvatten	6
3.7	Normala vattenförhållanden eller översvämning	7
4.	Förutsättningar för spridning och beräkningar.....	7
4.1	Mark.....	7
4.2	Grundvatten	8
4.3	Jämförelse av halter i grundvatten	9
5.	Aktuell belastning	9
5.1	Belastning från halter i mark	9
5.2	Belastning utifrån föroreningar uppmätta i grundvatten	10
6.	Framtida föroreningsbelastning till recipienten	11
6.1	Mark efter efterbehandling	11
6.2	Belastning efter efterbehandling.....	12
6.3	Resultat av efterbehandling	13
6.4	Jämförelse med belastning från Fyrisån.....	13
7.	Översvämningsscenario	15
7.1	Nuvarande förhållanden	15
7.2	Belastning efter efterbehandling.....	16
7.3	Resultat av efterbehandling vid översvämning	16
8.	Diskussion.....	17
9.	Referenser	17

Belastningsberäkning Börjetull

1. Inledning

Uppsala kommun planerar att omvandla ett industriområde i Librobäck, Uppsala till bostadsområde med förskole- och skolverksamhet. I samverkan med berörda fastighetsägare inom området pågår för närvarande en planprocess för området benämnt Börjetull.

Inom detaljplaneområdet finns ett område kallat Librobäcksdeponin, som tidigare brukades som lertäkt och efter lertäktens upphörande användes som deponi. Med den planerade omvandlingen av området kommer efterbehandlingsåtgärder att genomföras av denna. Efterbehandlingen kommer sannolikt att omfatta schaktsanering där förorenade massor grävs bort och omhändertas.

Ett syfte med efterbehandlingen är att balansera en generell ambition att hushålla med resurser (schaktvolym) samtidigt som oacceptabla nivåer av föroreningar tas om hand. Som en del i detta arbete har Ramböll tagit fram förslag på platspecifika riktvärden (PSRV) som används som underlag för att beskriva risker utifrån planerade framtida markanvändningar. PSRV ska kunna användas som mätbart åtgärds mål. Efterbehandlingen av Librobäcksdeponin kommer ha en påverkan på hur föroreningar sprids till främst den närliggande recipienten Fyrisån.

1.1 Uppdrag och syfte

På uppdrag av Projektidé i Uppsala AB har Ramböll genomfört föreliggande belastningsberäkning. Denna syftar till att beskriva hur föroreningar i deponin, som belastar Fyrisån, bedöms förändras utifrån nuvarande förhållanden samt efter att Librobäcksdeponin har sanerats med PSRV för boende/förskola & parkmark som mätbart åtgärds mål. Belastningsberäkningen ska även omfatta översvämningsscenario före och efter åtgärd.

1.2 Bakgrund

Librobäcksdeponin är ett ca 100 x 400 meter stort område inom Börjetulls planområde som av S:t Eriks tegelbruk brukades som lertäkt under 1930- och 1940-talet. Deponin sträckte sig från Börjegatan och nästan ända ner mot Fyrisån i östlig riktning (Figur 1). Deponin berör fastigheterna Librobäck 7:3, 9:2, 14:1, 14:2, 14:3, 13:1, 13:2, 10:5 samt delar av Librobäck 1:41. Efter täktens avslutande användes den som deponi och fylldes igen med deponi- och schaktmassor av okänd härkomst fram till år 1957. Fyllnadsmassorna ska enligt uppgift ha utgjorts av industriavfall, schaktmassor, byggnadsspill, tegelskrot, ris och grenar (Weber-Qvarfort, 2011).

Flera miljötekniska markundersökningar har genomförts inom deponiområdet (Ebab, 2011; Bjerking, 2015; Golder, 2001; Bjerking, 2012; Ramböll, 2016).

Det aktuella planområdet som ska exploateras avgränsas av Librobäcken, Fyrisån, Fyrisvallsgatan och Börjegatan. Planområdet bedöms omfatta ca 21 hektar.

2. Områdesbeskrivning

Det aktuella området ligger i stadsdelen Librobäck i den nordvästra delen av Uppsala tätort, och Luthagen (Figur 1). Området är idag planlagt som industriområde, och denna del av Uppsala domineras av industriverksamheter men genomgår en gradvis omvandling till att bli bostadsområden (Figur 1).



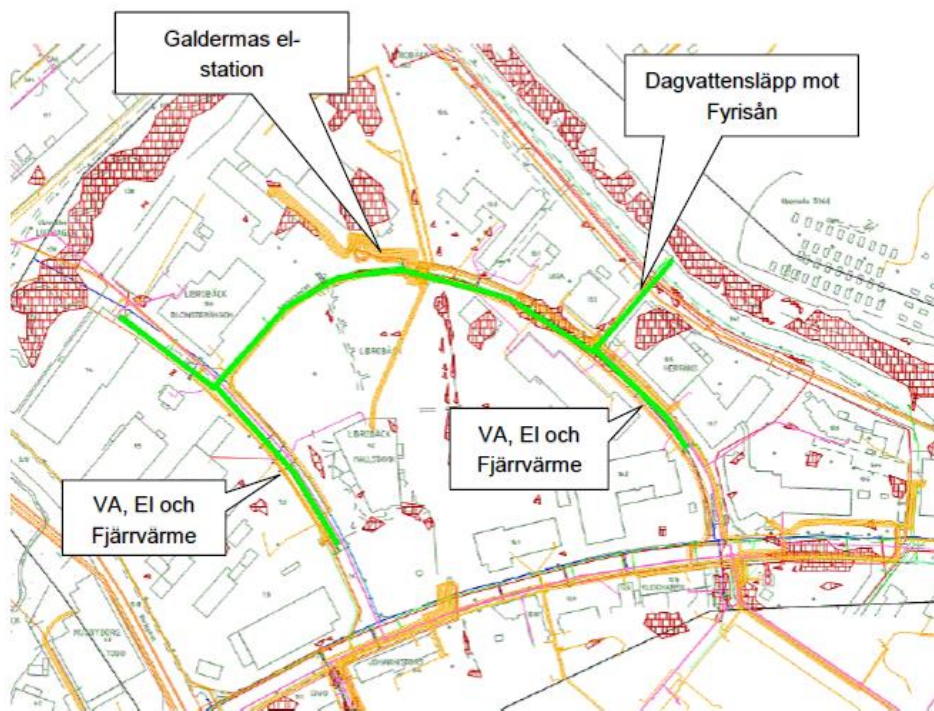
Figur 1. Schematisk bild över planområdet (lila markering) samt Librobäcksdeponin utbredning (beigefärgat område).

I anslutning till Librobäcksdeponins nordöstra del, rinner Fyrisån. Ca 200 - 300 m nordväst om deponiområdet rinner Librobäcken, som mynnar ut i Fyrisån. Skyddsvärdet för Fyrisån bedöms vara stort bland annat eftersom den är en viktig vandringväg för Upplands landskapsfisk, Aspen, som är en rödlistad art enligt artdatabanken.

2.1

Dagvatten

Stora delar av området är idag bebyggda eller hårdgjorda och asfalterade. Det finns dock mindre grönytor och grusade områden (Figur 1). Inom området finns dagvattenledningar som leds mot Fyrisån (Figur 2; Bjerking, 2016).



Figur 2. Befintliga dagvattenledningar i området (gröna), elledningar i orange, samt rödmarkeringar områden där vatten kan bli stående vid extrem nederbörd (Bjerking, 2016).

Med de planerade omvandlingen av Börjetull kommer dagvattenhanteringen att förändras i området. För att minimera belastningen från området efter en efterbehandling bör infiltration av dagvatten i området för deponin undvikas.

3. Metodik

3.1 **Dataunderlag**

Som dataunderlag har en sammanställning av tidigare genomförda miljötekniska markundersökningar inom deponiområdet använts (Ebab, 2011; Bjerking, 2015; Golder, 2001; Bjerking, 2012; Ramböll, 2016).

Inför en efterbehandling kommer åtgärdsförberedande provtagning genomföras. Denna syftar till att mer i detalj avgränsa vilka områden och vilket markdjup där en efterbehandling är nödvändig samt utgöra underlag för förklassificering av

massorna. Med denna provtagning kommer dataunderlaget att bli mer detaljerat än vad som finns tillgängligt idag.

3.2 Representativa halter

Ett områdes representativa halt är enligt Naturvårdsverket (2009) den halt som bäst representerar risksituationen i kontakt- och spridningsmedier utan att risken underskattas. Den representativa halten kan exempelvis uttryckas som en skattad medelhalt (med eller utan gardering för osäkerheter), 90-percentilen, uppmätt maxhalt eller som UCLM (övre konfidensgräns för medelhalten) (Naturvårdsverket, 2009). UCLM₉₅-halten tar hänsyn till antalet prov, deras standardavvikelse samt medelhalter och är områdets representativa halt av en förorening som områdets verkliga medelhalt med 95 % sannolikt underskrider. Det är ett konservativt mått på om området skulle kunna utgöra en oacceptabel risk eller inte.

Beroende på val av beräknad representativ halt bör även begreppet "felklassning" diskuteras. När ett förorenat område ska klassas som (a) i behov av åtgärder eller (b) ej i behov av åtgärder, så kan två typer av fel begås vid klassningen:

- Ett område som i verkligheten är i behov av åtgärder klassas som att åtgärder inte krävs. Detta kan leda till kvarstående hälso- och miljörisker.
- Ett område som i verkligheten inte kräver åtgärder klassas som att åtgärder krävs. Detta kan leda till extra åtgärds kostnader och större miljöbelastning (utsläpp transporter och förbrukning naturresurser). Dessa felbeslut kan inträffa på grund av att alla undersökningar är behäftade med osäkerheter, bl.a. orsakade av det begränsade antalet undersökningspunkter i en utredning.

I miljösammanhang betraktas oftast fel av typ 1 som mer allvarliga än fel av typ 2 eftersom fel av typ 1 kan leda till kvarstående hälso- och miljörisker som man inte är medveten om. Fel av typ 2 leder däremot till ökade kostnader. Om medelvärdet av stickproverna används som representativ halt så blir sannolikheten för fel av typ 1 och 2 ungefär lika stora. Vid bedömning av hälso- och spridningsrisker vill man hellre undvika typ 1-fel. I dessa fall kan man istället välja att använda UCLM₉₅-halter som representativ halt eftersom UCLM minskar sannolikheten för typ 1-fel (men på bekostnad av ökad sannolikhet för typ 2-fel).

UCLM₉₅-halter och medelhalter kan jämföras på följande sätt: Sannolikheten är 95 % att den verkliga medelhalten för ett område är lägre än UCLM₉₅. Sannolikheten för ett typ 1-fel är då 5 %. För medelvärdet är motsvarande sannolikhet 50 % (man skulle kunna beteckna medelvärdet som UCLM₅₀). Skillnaden illustrerar hur mycket säkrare UCLM₉₅ är än medelvärdet då man vill undvika typ 1-fel.

3.3 Egenskapsområden

Librobäcksdeponin är heterogent utfylld med olika material på olika platser. Detta gör det sannolikt att området skulle kunna delas in i mindre egenskapsområden

som bedöms var utfyllda med liknade material från samma tidsperiod. Utifrån detta förväntas föroreningshalter kunna vara mer likartade inom ett egenskapsområde.

Utifrån dagens kunskapsläge finns det inte tillräckligt detaljerad kunskap om olika utfyllnadsområdets utbredning vilket gör det svårt att dela in Librobäcksdeponin i egenskapsområden. Deponin har därför behandlats som ett egenskapsområde i beräkningar nedan och representativa halter har beräknats för området som en enhet. För att bedöma om denna metod är acceptabel har jämförelser gjorts mellan uppmätta halter i vatten och modellerade halter i detsamma.

Belastningsberäkningar är baserade på UCML₉₅-halter i föreliggande rapport.

3.4 **Platsspecifika riktvärden**

För området har platsspecifika riktvärden (PSRV) tagits fram (Ramböll, 2016, rev. 2018). I föreliggande belastningsberäkning har beräkningar genomförts enbart för de ämnen som det finns framtagna PSRV för. I beräkningarna har jämförelser gjorts med PSRV Bostäder/förskola och parkmark 0-1 m (nedan kallad PSRV 0-1 m) respektive PSRV Bostäder/förskola och parkmark > 1 m (nedan benämnd PSRV > 1 m). Föreliggande belastningsberäkning syftar till att beskriva hur belastningen av föroreningar kommer att förändras efter en efterbehandling. I den tänkta efterbehandlingen har de två framtagna PSRV använts som åtgärds mål:

- I beräkningarna för att ta fram representativa halter för området när efterbehandlingsarbeten har avslutats har alla halter i markdjupintervallet 0-1 m som överskred framtaget PSRV för bostäder/förskola för samma djupintervall ersatts med nivån för PSRV 0-1 m.
- För djupare nivåer i marken har istället jämförelser gjorts mot PSRV Bostäder/förskola och parkmark > 1 m och halter som överskred detsamma ersattes med nivån för PSRV > 1 m.

Denna justering innebär således att om bly i en punkt överskred PSRV så justerades halten bly ned till nivån för PSRV. Övriga ämnen i punkten justerades ej. Detta är veterligen inte en genomförbar saneringsmetod som fungerar i verkligheten. Det finns andra möjligheter att hypotetiskt sanera föroreningarna:

- 1) att justera samtliga halter i den förorenade punkten till PSRV. Men detta skulle då resultera i en skenbar höjning av de ämnen som understeg nivån för PSRV.
- 2) att ersätta prov med halter över PSRV med medelhalter för de under PSRV.

Men att ersätta variabla halter med en statisk halt (ex PSRV eller medelhalt) ger en lägre variation i datasetet vilket kan påverka beräkningen av UCLM₉₅-halter. Därför valdes här att enbart fokusera på att ersätta enskilda halter som översteg enskilda riktvärden.

För jordprov som uttagits överlappande över 1 m (ex ett prov som är uttaget för djupintervallet 0,8-1,5 m) har de placerats i det markdjuplager som representerar den större andelen av provet. Exempelvis 0,8-1,5 m efterbehandlas med det PSRV > 1 m. Om andelen varit lika stor (ex. 0,5-1,5 m) har det placerats som om det skulle efterbehandlas med det PSRV > 1 m då detta bedömdes mer konservativt.

3.5 **Naturvårdsverkets beräkningsmodell**

Spridningen från ett förorenat område till ytvatten hanteras i Naturvårdsverkets riktvärdesmodell (2016) genom att anta att förorenat porvatten transporteras med grundvattnet till en ytvattenrecipient. Beräkningen bygger på den sammantagna utspädningen mellan det förorenade området och ytvattenrecipienten. Enligt Naturvårdsverket (2016) bygger transportmodellen för spridning av föroreningar till ytvatten på följande antaganden:

- Hänsyn tas inte till fördröjning eller nedbrytning av föroreningar under transporten till recipienten.
- En fullständig omblandning av det förorenade vattnet antas ske i recipienten.
- Ansamling av föroreningar i sediment eller frigörelse av föroreningar från sediment beaktas inte.
- Bakgrundshalter i ytvattnet eller andra källor som belastar ytvattnet ingår inte i transportmodellen för spridning av föroreningar till ytvatten.
- Förångning och nedbrytning av föroreningar när de nått ytvattnet beaktas inte.

För beräkningar av belastning har Naturvårdsverket beräkningsark för använts (Naturvårdsverket, 2016). I arket under fliken "Halter" går det att föra in verkliga (eller i föreliggande fall förväntade) halter i mark och då ges en förväntad fördelning av hur dessa halter förväntas fördelas mellan mark, markvatten, grundvatten och ytvatten. Arket ger även den förväntade belastningen av föroreningar till en recipient per år.

3.6 **Jämförelse av halter i grundvatten**

Librobäcksdeponin är heterogent utfylld och exempelvis är djupare marklager (> 1 m) mer förorenade än ytliga lager. Detta innebär att föroreningsspridningen skulle kunna skilja sig mellan marklager. Exempelvis skulle representativa halter av föroreningar för det djupare marklagret vara högre än för området som en helhet. Jämförelser av framräknade medel- och UCLM₉₅-halter och deras modellerade halter i grundvattnet har därför genomförts i syfte att se hur väl de överensstämmer. I dessa beräkningar har uppmätta halter i grundvatten jämförts mot modellerade halter (Naturvårdsverket, 2016). I beräkningarna har följande antaganden gjorts:

- Bildning av det ytliga grundvattnet (markvatten) sker med 100 mm/år vilket motsvarar de generella antaganden för generella riktvärden (ex KM).

- Markens hydrauliska konduktivitet har för deponin bedömts vara $1,7 \cdot 10^{-4}$ m/s (Lunds Universitet, 2017).
- Inom deponin bedöms den hydrauliska gradienten (grundvattenytans lutning vara 0,0057 (beräknad från Bjerking, 2012).

3.7 Normala vattenförhållanden eller översvämning

Utifrån UCLM₉₅-halter i mark har belastningen till recipienten beräknats utifrån de förhållanden som gäller för PSRV där föroreningen är ovan grundvattenytan. För att beskriva ett översvämningsscenario har det antagits att en större del av deponin hamnar under vattenytan.

4. Förutsättningar för spridning och beräkningar

4.1 Mark

Inom deponin har miljöundersökningar av föroreningsituationen genomförts i flera omgångar (Ebab, 2011; Bjerking, 2015; Golder, 2001; Bjerking, 2012; Ramböll, 2016). Nedan har en sammanställning av resultat från dessa undersökningar gjorts. Föroreningar i deponin har analyserats för olika ämnen mellan 55 – 81 gånger (Tabell 1). Representativa halter har beräknats för deponiområdet som helhet. Max-, och UCLM₉₅-halter överskred riktvärdet för PSRV > 1 m för de flesta ämnen. Medelhalten överskred riktvärdet för PSRV > 1 m för ca en fjärdedel av ämnena medan median-, och minhalten ej överskred något PSRV (Tabell 1). De stora skillnaderna i halter mellan medel- och medianhalter, samt även skillnader mellan medel-, och UCLM₉₅-halter indikerar att det finns stora variationer i föroreningshalter inom deponiområdet. I en mer homogen deponi skulle skillnaderna mellan dessa olika sammanräkningar vara betydligt mindre (Tabell 1).

Tabell 1. Översikt över hur representativa halter i deponin förhåller sig till de generella riktvärdena för känslig (KM) och mindre känslig markanvändning (MKM). Tabellen ger minimi-, median- samt medelhalter, standardavvikelse, maxhalt, antal ingående analyser, samt framräknade UCLM₉₅-halter. Grönfärgade celler indikerar halter som överskred PSRV 0-1 m medan blåfärgade celler visar halter över PSRV > 1 m. Observera att analysvar under rapporteringsgräns har i beräkningar antagits motsvara halva rapporteringsgränsen.

Ämne	Enhet	PSRV 0-1	PSRV >1	Min	Median	Medel	Stavv	Max	Antal	UCLM95
Torrsubstans (TS) (%)				53,0	82	79	11	97	29	
TOC beräknat (% TS)				0,3	2	3	3	11	9	
pH (°)				7,9	8	8	0,4	9	9	
Arsenik As	mg/kg Ts	10	25	1,0	5	10	15	96	79	17
Barium Ba	mg/kg Ts	300	800	15,0	120	546	2384	19000	63	1827
Bly Pb	mg/kg Ts	80	600	3,1	43	235	648	5200	80	544
Kadmium Cd	mg/kg Ts	2	20	0,1	0	24	167	1500	81	103
Kobolt Co	mg/kg Ts	30	70	2,1	8	10	8	51	79	13
Koppar Cu	mg/kg Ts	200	400	6,5	44	2183	11772	89000	79	7831
Krom Cr	mg/kg Ts	150	400	5,7	25	33	34	190	77	49
Kviksilver Hg	mg/kg Ts	0,3	1	0,005	0,072	0,43	1,95	17	77	1,38
Nickel Ni	mg/kg Ts	120	120	2,5	20	57	278	2500	80	189
Vanadin V	mg/kg Ts	200	200	9,3	29	40	68	619	79	72
Zink Zn	mg/kg Ts	500	700	23,0	195	773	2462	21000	80	1947
PAH-L	mg/kg Ts	15	60	0,15	0,15	6,3	48	400	70	31
PAH-M	mg/kg Ts	3,5	8	0,2	1	24	142	1200	72	95

PAH-H	mg/kg Ts	3	15	0,2	2	14	60	500	72	44
Alifater >C10C12	mg/kg Ts	200	600	2,5	3	8	16	100	65	16
Alifater >C12C16	mg/kg Ts	500	1000	2,5	3	28	102	720	65	82
Alifater >C16C35	mg/kg Ts	1000	1000	5,0	39	329	1207	8600	60	993
Aromater >C10C16	mg/kg Ts	15	60	0,5	0	20	126	1000	63	87
Aromater >C16C35	mg/kg Ts	8	40	0,5	1	14	78	580	55	59

4.2

Grundvatten

Inom området har olika ämnen analyserats i grundvatten mellan 3 - 8 gånger, se Tabell 2 (Bjerking, 2012 och 2015 samt Ramböll, 2017). Särskilt värt att notera är att en mycket hög halt av triklorfenol har påträffats i en punkt (Bjerking, 2012).

Tabell 2. Översikt över medel- och medianhalter i grundvattenprover från deponiområdet. Tabellen ger ämnen, enhet, median- och medelhalt, samt antal analyser. Observera att analys svar under rapporteringsgräns har i beräkningar antagits motsvara halva rapporteringsgränsen.

Ämnen	Enhet	Median	Medel	Antal
Arsenik	µg/l	2,85	3,64	8
Bly Pb	µg/l	0,099	0,10	8
Kadmium	µg/l	0,01	0,013	8
Kobolt	µg/l	1,95	2,3	8
Koppar	µg/l	1,05	1,16	8
Krom	µg/l	0,235	0,21	8
Kvicksilver	µg/l	0,05	0,050	8
Nickel	µg/l	4,3	8,58	8
Vanadin	µg/l	0,54	0,54	7
Zink	µg/l	16	19	8
Bensen	µg/l	0,36	1,2	8
1,1-Diklorethan	µg/l	0,5	0,64	5
1,2-Diklorethan	µg/l	0,5	0,5	1
Vinylklorid	µg/l	0,25	1,4	5
Tetraklorethan	µg/l	0,5	0,5	1
Diklorometan	µg/l	0,5	0,5	1
2,6-Diklorbenzamid (BAM)	µg/l	0,4	0,42	3
PCB 28	µg/l	0,05	0,05	1
PCB 52	µg/l	0,05	0,05	1
PCB 101	µg/l	0,05	0,05	1
PCB 118	µg/l	0,05	0,05	1
PCB 153	µg/l	0,05	0,05	1
PCB 138	µg/l	0,05	0,05	1
PCB 180	µg/l	0,05	0,05	1
PAH-4	µg/l	1,115	2,0	6
PAH L	µg/l	5,9	19,3	6
PAH M	µg/l	8,8	34,2	6
PAH H	µg/l	2,65	5,0	6
Perfluoroktansyra (PFOA)	ng/l	11	11	1
Perfluorheptansyra (PFHpA)	ng/l	0,81	0,81	1
Alifater >C8-C10	mg/l	0,05	0,05	1
Alifater >C5-C12	mg/l	0,05	0,28	5
Alifater >C10-C12	mg/l	0,05	0,065	6
Alifater >C12-C16	mg/l	0,125	0,65	8
Alifater >C16-C35	mg/l	0,125	0,62	8
Aromater >C8-C10	mg/l	0,125	0,16	8
Aromater >C10-C16	mg/l	0,125	0,13	3
Di-n-butylftalat	µg/l	0,05	0,16	6
Di-(2-etylhexyl)ftalat	µg/l	0,5	1,2	6
Dietylftalat	µg/l	0,2	0,24	8
p-Isopropyltoluen	µg/l	0,5	0,87	3
Summa Triklorfenol	µg/l	0,5	2 033 334	3

4.3 Jämförelse av halter i grundvatten

Utifrån de antagna inställningarna (se avsnitt 3.6) som användes i Naturvårdsverket beräkningsark gjordes en bedömning av hur väl representativa halter (medel eller UCLM₉₅-halter) speglade de uppmätta halterna i grundvattnet (Tabell 3). Utifrån låga halter av alifater och aromater i marken har modellen förutspått lägre nivåer än uppmätta i grundvatten (Tabell 3). Men sammantaget ger beräkningar utifrån markens medel- eller UCLM₉₅-halter en relativt variabel överensstämmelse med halter i grundvatten. För de flesta ämnena beskriver dock modellerade data att föroreningar i marken borde ge högre halter i grundvattnet än vad som faktiskt uppmätts (Tabell 3). Utifrån dessa resultat gör Ramböll bedömningen att använda UCLM₉₅-halter som representativ halt för deponin som helhet är tillräcklig för att beskriva spridningen av föroreningar.

Tabell 3. Tabellen ger medelhalter i mark samt vilka halter som de bedöms generera i grundvatten dessa förutspås na förutspås uppmätta UCLM₉₅-halter i mark och en skattning av hur ämnena lakar till vatten och mellan mark-, grund- och ytvatten samt beräknad belastning till recipienten. Tabellen visar även medel- och maxhalter uppmätta i deponimrådet grundvatten.

Ämne	Bedömning utifrån medelhalter		Bedömning utifrån UCLM ₉₅ -halter		Uppmätt medelhalt i grundvatten (µg/l)	Uppmätt maxhalt i grundvatten (µg/l)
	Medelhalter i mark (mg/kg TS)	Beräknad medelhalt i grundvatten (µg/l)	UCLM ₉₅ -halter i mark (mg/kg TS)	Beräknad UCLM ₉₅ -halt i grundvatten (µg/l)		
Arsenik-	10	2,2	17	3,8	3,6	9,1
Barium-	546	31	1 827	100	-	
Bly-	235	8,8	544	20	0,10	0,2
Kadmium-	24	7,9	103	35	0,013	0,024
Kobolt-	10	2,1	13	3	2,3	5,4
Koppar-	2 183	240	7 831	880	1,2	1,8
Krom tot-	33	1,5	49	2,2	0,21	0,3
Kvikksilver-	0	0,096	1	0,31	0,05	0,05
Nickel-	57	13	189	42	8,6	26
Vanadin-	40	2,7	72	4,9	0,54	0,92
Zink-	773	86	1 947	220	19,4	40
PAH-L-	6	12	31	57	19,3	94
PAH-M-	24	2,8	95	11	34,2	160
PAH-H-	14	0,13	44	0,4	5,0	16
Alifat >C10-C12-	8	0,081	16	0,17	65	140
Alifat >C12-C16-	28	0,12	82	0,37	650	4 400
Alifat C16-C35-	329	0,8	993	2,4	622	4 100
Aromat >C10-C16-	20	12	87	53	125	125
Aromat > C16-C35-	14	2,8	59	12		

5. Aktuell belastning

5.1 Belastning från halter i mark

Utifrån UCLM₉₅-halter i marken beräknades belastningen till recipienten per år. Som exempel beräknades 57 kg koppar, 14 kg zink, samt 26 gram PAH-H från det förorenade området att nå recipienten (Tabell 4).

Tabell 4. Tabellen ger uppmätta UCLM₉₅-halter i mark och en skattning av hur ämnena vid normala vattennivåer lakar till vatten och mellan mark-, grund- och ytvatten samt beräknad belastning till recipienten.

Ämne	Halter i jord mg/kg	Grundvatten µg/l	Ytvatten µg/l	Via grundvatten till ytvatten g/år
Arsenik-	17	3,8	0,0016	250
Barium-	1 827	100	0,042	6 700
Bly-	544	20	0,0084	1 300
Kadmium-	103	35	0,014	2 300
Kobolt-	13	3	0,0012	190
Koppar-	7 831	880	0,36	57 000
Krom tot-	49	2,2	0,00092	140
Kvicksilver-	1	0,31	0,00013	20
Nickel-	189	42	0,018	2 800
Vanadin-	72	4,9	0,002	320
Zink-	1 947	220	0,091	14 000
PAH-L-	31	57	0,024	3 700
PAH-M-	95	11	0,0047	740
PAH-H-	44	0,4	0,00017	26
Alifat >C10-C12-	16	0,17	0,000071	11
Alifat >C12-C16-	82	0,37	0,00015	24
Alifat C16-C35-	993	2,4	0,001	160
Aromat >C10-C16-	87	53	0,022	3 500
Aromat > C16-C35-	59	12	0,0049	770

5.2

Belastning utifrån föroreningar uppmätta i grundvatten

Belastning har även beräknas utifrån uppmätta halter i grundvattnet. För detta har data använts för de åtta grundvattenrör som har installerats (Bjerking, 2015).

För att beräkna belastning till recipienten utifrån uppmätta halter i grundvatten har Darcys lag använts för att beräkna grundvattnets flödes hastighet, Q , samt att utifrån föroreningskoncentrationer bedöma föroreningstransporten i grundvattnet till ytvattnet. I ekvationen nedan ses Darcys lag:

$$Q = K * A * \frac{dh}{dL}$$

Där Q är flödet, K är materialets hydrauliska konduktivitet (har för Librobäcksdeponin bedömts vara $1,7 * 10^{-4}$ m/s; Lunds universitet, 2017). A är akvifärens tvärsnittsarea (i detta fall används deponins tvärsnitt mot Fyrisån), uppskattad till 640 m^2 , och dh/dL är den hydrauliska gradienten som beräknats till $0,0057$ (Bjerking, 2012). Föroreningstransporten har sedan beräknats genom multiplikation av grundvattnets flödes hastighet (m^3/s) och medelhalten för respektive ämne i grundvattnet ($\mu\text{g}/\text{l}$). Genom enhetsomvandling har sedan belastningen i $\text{g}/\text{år}$ beräknats (Tabell 5).

Belastningsberäkningen utifrån grundvatten bedöms har en variabel överensstämmelse med beräkningar utifrån halter i mark. Belastningsberäkningar utifrån median- och medelhalter överensstämmer bättre med halter i grundvattnet än vad beräkningar från UCLM₉₅-halter gjorde (Tabell 5). UCLM₉₅-halter

överskattade belastningen jämfört med vad som förväntades utifrån halter i grundvatten (Tabell 5).

Tabell 5. Översikt över belastning beräknad från uppmätta halter i grundvatten och mark. Tabellen ger belastning utifrån median-, medel-, och UCLM₉₅-halter.

Ämne	Belastning från uppmätt halt i grundvatten g/år	Beräknad belastning från halter i mark		
		Belastning median g/år	Belastning medel g/år	Belastning UCLM ₉₅ -halt g/år
Arsenik	71,6	72	150	250
Barium	-	440	2 000	6 700
Bly	2,0	110	570	1 300
Kadmium	0,26	5,3	520	2 300
Kobolt	46	110	140	190
Koppar	23	320	16 000	57 000
Krom	4,0	73	97	140
Kvicksilver	0,98	1,1	6,3	20
Nickel	168	290	830	2 800
Vanadin	11	130	170	320
Zink	381	1 400	5 700	14 000
PAH L	379	18	770	3 700
PAH M	672	11	180	740
PAH H	97	1,2	8,4	26
Alifater >C10-C12	1,3	1,7	5,3	11
Alifater >C12-C16	12,7	0,74	8,1	24
Alifater >C16-C35	12,2	6,2	53	160
Aromater >C10-C16	2,5	18	780	3 500

6. Framtida föroreningsbelastning till recipienten

6.1 Mark efter efterbehandling

Utifrån de undersökningar som gjorts (Ebab, 2011; Bjerking, 2015; Golder, 2001; Bjerking, 2012; Ramböll, 2016) har halter över PSRV 0-1 m samt PSRV > 1 m ersatts med nivån för de olika PSRV. Representativa halter har sedan beräknats för deponiområdet som en helhet och är sammanställda nedan (Tabell 6).

Föroreningar i deponin har även fortsatt analyserats för olika ämnen mellan 55 – 81 gånger. Efter den hypotetiska efterbehandlingen där halter över något av de två PSRV ersatts med gällande PSRV halt, visar resultatet på att maxhalter för de flesta ämnen är detsamma som PSRV > 1 m. Medel-, och UCLM₉₅-halter överskred PSRV 0-1 m för några ämnen, men dessa föroreningar ligger på ett större markdjup än en meter och ska därför bedömas efter PSRV > 1 m (Tabell 6).

Sammantaget har den hypotetiska efterbehandlingen reducerat föroreningssituationen inom området. För jämförelser med nuvarande belastning används UCLM₉₅-halter i beräkningarna för att bedöma den framtida belastningen.

Tabell 6. Översikt över fördelningen av representativa halter i deponin efter en hypotetisk efterbehandling. Tabellen ger minimi-, median- samt medelhalter, standardavvikelse, maxhalt, antal ingående analyser, samt framräknade UCLM₉₅-halter. Grönfärgade celler indikerar halter som överskred PSRV 0-1 m medan

blåfärgade celler visar halter över PSRV >1 m. Observera att analys svar under rapporteringsgräns har i beräkningar antagits motsvara halva rapporteringsgränsen.

Ämne	Enhet	PSRV 0-1	PSRV >1	Min	median	Medel	Stavv	Max	Antal	UCLM
Arsenik As	mg/kg Ts	10	25	1,0	4,9	7,8	7,1	25	79,0	11,2
Barium Ba	mg/kg Ts	300	800	15,0	120,0	224,6	228,0	800	63,0	347,1
Bly Pb	mg/kg Ts	80	600	3,1	43,0	138,0	180,4	600	80,0	224,0
Kadmium Cd	mg/kg Ts	2	20	0,1	0,2	2,3	5,0	20	81,0	4,7
Kobolt Co	mg/kg Ts	30	70	2,1	7,7	9,6	7,5	51	79,0	13,2
Koppar Cu	mg/kg Ts	200	400	6,5	44,0	129,4	147,0	400	79,0	199,9
Krom Cr	mg/kg Ts	150	400	5,7	25,0	33,1	33,6	190	77,0	49,4
Kvicksilver Hg	mg/kg Ts	0,3	1	0,0	0,1	0,2	0,3	1	77,0	0,3
Nickel Ni	mg/kg Ts	120	120	2,5	20,0	26,8	25,0	120	80,0	38,7
Vanadin V	mg/kg Ts	200	200	9,3	29,0	34,4	25,7	200	79,0	46,7
Zink Zn	mg/kg Ts	500	700	23,0	195,0	301,3	253,5	700	80,0	422,2
PAH-L	mg/kg Ts	15	60	0,2	0,2	1,5	7,2	60	70,0	5,1
PAH-M	mg/kg Ts	3,5	8	0,2	1,4	2,9	3,0	8	72,0	4,4
PAH-H	mg/kg Ts	3	15	0,2	2,0	4,1	4,9	15	72,0	6,5
Alifater >C10C12	mg/kg Ts	200	600	2,5	2,5	7,6	16,2	100	65,0	16,1
Alifater >C12C16	mg/kg Ts	500	1000	2,5	2,5	27,5	102,1	720	65,0	81,5
Alifater >C16C35	mg/kg Ts	1000	1000	5,0	39,0	146,9	242,3	1000	60,0	280,3
Aromater >C10C16	mg/kg Ts	15	60	0,5	0,5	4,6	9,2	60	63,0	9,6
Aromater >C16C35	mg/kg Ts	8	40	0,5	1,2	4,0	7,5	40	55,0	8,3

6.2 Belastning efter efterbehandling

Utifrån UCLM₉₅-halter i marken beräknas belastningen till recipienten per år. Som exempel beräknas till 1,5 kg koppar, 3,1 kg zink, samt 3,9 gram PAH-H från det efterbehandlade området att nå recipienten (Tabell 7).

Tabell 7. Tabellen ger uppmätta UCLM₉₅-halter i mark och en skattning av hur ämnena vid normala vattennivåer lakar till vatten och mellan mark-, grund- och ytvatten samt beräknad belastning till recipienten.

Ämne	Halter i jord mg/kg	Grundvatten µg/l	Ytvatten µg/l	Via grundvatten till ytvatten g/år
Arsenik-	11	2,5	0,001	160
Barium-	347	19	0,0081	1 300
Bly-	224	8,3	0,0035	550
Kadmium-	5	1,6	0,00065	100
Kobolt-	13	3	0,0012	190
Koppar-	200	22	0,0093	1 500
Krom tot-	49	2,2	0,00092	140
Kvicksilver-	0	0,074	0,000031	4,8
Nickel-	39	8,7	0,0036	570
Vanadin-	47	3,1	0,0013	210
Zink-	422	47	0,02	3 100
PAH-L-	5	9,5	0,004	620
PAH-M-	4	0,52	0,00021	34
PAH-H-	7	0,06	0,000025	3,9
Alifat >C10-C12-	16	0,17	0,000071	11
Alifat >C12-C16-	82	0,37	0,00015	24
Alifat C16-C35-	280	0,68	0,00028	45
Aromat >C10-C16-	10	5,9	0,0024	380
Aromat > C16-C35-	8	1,6	0,00069	110

6.3 Resultat av efterbehandling

En efterbehandling där PSRV används som åtgärds mål kommer att sänka belastningen till recipienten (Tabell 8). För flera ämnen visar beräkningarna att belastningen kommer att reduceras med ca 80% eller mer (ex kadmium, koppar, nickel, PAH-L, PAH-M, PAH-H, aromat >C10-C16, samt aromat > C16-C35, Tabell 8). För några ämnen har beräkningar identifierat oförändrad belastning (ex alifat >C10-C12). Detta beror på den hypotetiska saneringen som genomförts där enbart halter över gällande PSRV har ersatts. Dessa ämnen har således påvisats med halter som underskridit gällande PSRV.

Tabell 8. Jämförelse av belastning för nuvarande föroreningsituation samt efter efterbehandling vid normala vattennivåer. Tabellen ger även den procentuella minskningen.

Ämne	Nuvarande g/år	Efter åtgärd g/år	% minskning
Arsenik-	250	160	-36
Barium-	6 700	1 300	-81
Bly-	1 300	550	-58
Kadmium-	2 300	100	-96
Kobolt-	190	190	0
Koppar-	57 000	1 500	-97
Krom tot-	140	140	0
Kvicksilver-	20	4,8	-76
Nickel-	2 800	570	-80
Vanadin-	320	210	-34
Zink-	14 000	3 100	-78
PAH-L-	3 700	620	-83
PAH-M-	740	34	-95
PAH-H-	26	3,9	-85
Alifat >C10-C12-	11	11	0
Alifat >C12-C16-	24	24	0
Alifat C16-C35-	160	45	-72
Aromat >C10-C16-	3 500	380	-89
Aromat > C16-C35-	770	110	-86

6.4 Jämförelse med belastning från Fyrisån

För att bedöma storleken på belastningen från deponin jämförs belastningen från deponin med belastningen från Fyrisån. Fyrisån har ett medelflöde på 10 m³/s (Fyris on Line, 2019). Strax uppströms Börjetull finns en provtagningspunkt benämnd Klastorp där vattenkemi analyserats månadsvis under 2017 och 2018 (Miljödata MVM, 2019). Fram till dagens datum finns oktober 2018 rapporterade. Dock har bara metaller analyserats vid dessa provtagningar. Belastningen har beräknats på samma sätt som för grundvatten ovan där åns medelflöde samt medelhalter från provtagningar har multiplicerats till att ge belastning i g/år (Tabell 9).

Belastningen under rådande förhållanden vid deponin innebär att Fyrisåns belastning till Mälaren skulle öka med ca 60 % med avseende på kadmium från deponin vid Börjetull (Tabell 8 och Tabell 9). För koppar skulle ökningen vara ca 10 % (Tabell 8 och Tabell 9).

Efter åtgärd skulle dock den reducerade belastningen till Fyrisån innebära att tillskottet från deponin endast utgör ca 3 % med avseende på kadmium samt 0,3 % med avseende på koppar (Tabell 8 och Tabell 9).

Tabell 9. Medelhalter av metaller från vattenanalyser under 2017 och 2018 (Miljödata MVM, 2019) samt medelflöde (Fyris on Line, 2019) och den beräknade belastningen.

Ämne	medel µg/l	q m ³ /s	g/år
As (µg/l)	0,63	10	199 537
Cd (µg/l)	0,01	10	3 827
Co (µg/l)	0,34	10	106 076
Cr (µg/l)	0,51	10	161 550
Cu (µg/l)	1,85	10	582 126
Ni (µg/l)	1,74	10	548 153
Pb (µg/l)	0,30	10	94 178
V (µg/l)	0,79	10	247 701
Zn (µg/l)	5,65	10	1 783 217

6.5 Jämförelse med föroreningshalter uppströms och nedströms Börjetull

Miljödata MVM (2019) genomför månatliga provtagningar med analyser av metaller i Fyrisån. Deras provtagningsplats i Klastorp ligger direkt uppströms Börjetull. Nedströms finns nästa provtagningspunkt vid i Flottsund ca 11 km nedströms Börjetull. Denna punkt ligger även nedströms Uppsala stadskärna samt reningsverk och bedöms få ett tillskott av en stor volym dagvatten med olika föroreningsinnehåll. Om beräknade medelhalter för perioden 2017-2018 (under denna period finns data från båda provtagningsplatserna) jämförs mellan de två stationerna är de flesta halterna av metaller högre i Flottsund än i Klastorp. Om halterna jämförs mot bedömningsgrunder för särskilt förorenade ämnen samt gränsvärden för kemisk ytvattenstatus (HVMFS, 2013) är det tydligt att medelhalterna för perioden med avseende på arsenik, koppar, och zink överskred antingen bedömningsgrunder eller gränsvärden. Ett reducerat utflöde från deponiområdet i Börjetull bedöms därmed inte ensamt förbättra statusklassningen för vattendraget, men det bidrar till att förbättra statusklassningen på sikt.

Tabell 10. Uppmätta medelhalter av metaller i ytvatten under perioden 2017-2018 vid Miljödata MVMs provtagningspunkter i Klastorp och Flottsund. Halterna jämförs mot bedömningsgrunder för särskilt förorenade ämnen samt gränsvärden för kemisk ytvattenstatus (HVMFS, 2013).

Ämne	Miljödata - Klastorp medelhalt ug/l	Miljödata - Flottsund medelhalt ug/l	Bedömningsgrunder för särskilda förorenande ämnen i inlandsytvatten. Årsmedelhalter (µg/l)	Gränsvärden för kemisk ytvattenstatus. Årsmedelhalter (µg/l)
Arsenik (µg/l)	0,63	0,62	0,5	

kadmium (µg/l)	0,012	0,021		0,1
Kobolt (µg/l)	0,34	0,67		
Krom (µg/l)	0,51	0,64	3,4	
Koppar (µg/l)	1,85	2,81	0,5	
Nickel (µg/l)	1,74	3,61		4,0
Bly (µg/l)	0,30	0,48		1,3
Vanadin (µg/l)	0,79	1,05		
Zink (µg/l)	5,65	7,73	5,5	

7. Översvämningsscenario

7.1 Nuvarande förhållanden

Om större delar av deponin hamnar under vatten kommer belastningen till recipienten att öka (Tabell 4 och Tabell 11). Som exempel skulle belastningen för koppar öka till 180 kg/år, zink till 44 kg/år, samt PAH-H till 81 g/år (Tabell 11). En översvämning bedöms dock bara ske delar av året och sannolikt inte heller varje år. Utifrån detta antagande är belastningen således överskattad.

Tabell 11. Tabellen ger uppmätta UCLM₉₅-halter i mark och en skattning av hur ämnena vid en översvämning lakar till vatten och mellan mark-, grund- och ytvatten samt beräknad belastning till recipienten.

Ämne	Halter i jord mg/kg	Grundvatten µg/l	Ytvatten µg/l	Via grundvatten till ytvatten g/år
Arsenik-	17	13	0,0049	770
Barium-	1827	340	0,13	20 000
Bly-	544	68	0,026	4 100
Kadmium-	103	120	0,044	6 900
Kobolt-	13	9,9	0,0038	590
Koppar-	7831	2900	1,1	180 000
Krom tot-	49	7,4	0,0028	440
Kvicksilver-	1	1	0,00039	62
Nickel-	189	140	0,054	8 500
Vanadin-	72	16	0,0062	970
Zink-	1947	730	0,28	44 000
PAH-L-	31	190	0,072	11 000
PAH-M-	95	38	0,014	2 300
PAH-H-	44	1,4	0,00051	81
Alifat >C10-C12-	16	0,57	0,00022	34
Alifat >C12-C16-	82	1,2	0,00047	74
Alifat C16-C35-	993	8,1	0,0031	490
Aromat >C10-C16-	87	180	0,068	11 000
Aromat > C16-C35-	59	40	0,015	2400

7.2 Belastning efter efterbehandling

Vid en översvämning har det bedömts att större delar av deponin hamnar under vatten, vilket resulterar i att belastningen till recipienten kommer öka (Tabell 7 och Tabell 12). Som exempel skulle belastningen för koppar vid en översvämning öka till 4,5 kg/år, zink till 9,5 kg/år, samt PAH-H till 12 g/år (Tabell 12). En översvämning bedöms dock bara ske delar av året och sannolikt inte heller varje år.

Tabell 12. Tabellen ger uppmätta UCLM₉₅-halter i mark och en skattning av hur ämnena vid en översvämning lakar till vatten och mellan mark-, grund- och ytvatten samt beräknad belastning till recipienten.

Ämne	Halter i jord mg/kg	Grundvatten µg/l	Ytvatten µg/l	Via grundvatten till ytvatten g/år
Arsenik-	11	8,4	0,0032	500
Barium-	347	65	0,025	3 900
Bly-	224	28	0,011	1 700
Kadmium-	5	5,3	0,002	320
Kobolt-	13	9,9	0,0038	590
Koppar-	200	75	0,028	4 500
Krom tot-	49	7,4	0,0028	440
Kvikksilver-	0	0,25	0,000094	15
Nickel-	39	29	0,011	1 700
Vanadin-	47	11	0,004	630
Zink-	422	160	0,06	9 500
PAH-L-	5	32	0,012	1 900
PAH-M-	4	1,7	0,00066	100
PAH-H-	7	0,2	0,000076	12
Alifat >C10-C12-	16	0,58	0,00022	34
Alifat >C12-C16-	82	1,2	0,00047	74
Alifat C16-C35-	280	2,3	0,00087	140
Aromat >C10-C16-	10	20	0,0075	1 200
Aromat > C16-C35-	8	5,6	0,0021	330

7.3 Resultat av efterbehandling vid översvämning

En jämförelse mellan översvämning under rådande förhållande mot efter en efterbehandling bedöms resultera i en sänkning av belastningen för från 35-95% (Tabell 13). För några ämnen har beräkningar identifierat oförändrad belastning efter efterbehandling (ex kobolt och krom). Detta beror på den hypotetiska saneringen som genomförts där enbart halter över gällande PSRV har ersatts. Dessa ämnen har således underskridit gällande PSRV.

Tabell 13. Jämförelse av belastning för nuvarande föroreningsituation samt efter efterbehandling vid ett översvämningsscenario. Tabellen ger även den procentuella minskningen.

Ämne	Nuvarande g/år	Efter åtgärd g/år	% minskning
Arsenik-	770	500	-35
Barium-	20 000	3 900	-81
Bly-	4 100	1 700	-59
Kadmium-	6 900	320	-95
Kobolt-	590	590	0
Koppar-	180 000	4 500	-98
Krom tot-	440	440	0
Kvikksilver-	62	15	-76
Nickel-	8 500	1 700	-80

Vanadin-	970	630	-35
Zink-	44 000	9 500	-78
PAH-L-	11 000	1 900	-83
PAH-M-	2300	100	-96
PAH-H-	81	12	-85
Alifat >C10-C12-	34	34	0
Alifat >C12-C16-	74	74	0
Alifat C16-C35-	490	140	-71
Aromat >C10-C16-	11 000	1 200	-89
Aromat > C16-C35-	2 400	330	-86

8. Diskussion

Beräkningar utifrån halter i mark och grundvatten har haft en variabel överensstämming. För halter i vattnet bedömdes medelhalter eller UCLM₉₅-halter i mark någorlunda spegla uppmätta halter i grundvattnet. För belastningsberäkningar bedömdes dock medianhalter för mark bättre spegla den belastning som förväntades från halter i grundvatten. Detta innebär att belastningsberäkningarna som utgått från UCLM₉₅-halter kan ha överskattat den faktiska och framtida belastningen.

Sammantaget skulle en sanering utifrån framtagna platsspecifika riktvärden reducera belastningen till recipienten Fyrisån (Tabell 8 och Tabell 13). Detta bedöms vara fördelaktigt för åns kemiska och ekologiska status.

9. Referenser

Bjerking, 2012, PM Miljöteknisk markundersökning Librobäck 13:1 och 13:2, Uppsala, daterad 2012-07-05

Bjerking AB, 2015. PM Miljöteknisk undersökning av deponi i tidigare lertäkt, 2015-02-11

Bjerking, 2016, Vattenmiljöutredning Börje Tull, daterad 2016-09-26.

Ebab, 2011, Librobäck 14:1 - Översiktlig miljöteknisk markundersökning med åtgärdsplan, daterad 2011-05-20

Fyris on Line, 2019; <http://www.fyris-on-line.nu/pegel.aspx?typ=stand>

Golder Associates, 2001. Miljöteknisk markundersökning av 11 fastigheter i Librobäck och 1 fastighet i Fålhagen, Uppsala kommun (uppdrag 0170303)

HVMFS, 2013, <https://www.havochvatten.se/hav/vagledning--lagar/foreskrifter/register-vattenforvaltning/klassificering-och-miljokvalitetsnormer-avseende-ytvatten-hvmfs-201319.html>

Lunds universitet, 2017, Henrik Kempengren, Förorenings spridning från kustnära deponi: Applicering av Landsim 2.5 för modellering av lakvattentransport till Östersjön Länsstyrelsen i Uppsala län. Utdrag ur EBH-stödet (Länsstyrelsens databas över förorenade områden).

Miljödata, 2016, <http://miljodata.slu.se/mvm>

Naturvårdsverket 2016, Riktvärden för förorenad mark, modellbeskrivning och vägledning, Rapport 5976, september 2009

Naturvårdsverket 2009, Riskbedömning av förorenade områden; Rapport 5977, december 2009

Naturvårdsverket 2016, Beräkningsprogram, version 2.0.1

Weber-Qvarfort, 2011. *Lertäkter i Uppsala. Inventering och föroreningssituation.* (Examensarbete vid Västerbergslagens utbildningscentrum)